

UJI FASTENING PADA KAYU KOMPOSIT SERAT PANDAN WANGI DAN LIMBAH KAYU DENGAN RESIN POLYESTER

Emmy Dyah S.¹⁾, Nasmi H.S.²⁾, Sinarep³⁾, Pandri Pandiatmi⁴⁾, Insan Andrian⁵⁾

^{1,2,3,4,5} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

E-Mail: Emmydyahsulistyowati@rocketmail.com

Abstraksi

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan jenis penanganan penyambungan pada pemakaian sebagai panel pintu, lembaran atap, dinding dan lantai. Untuk itu pengujian yang dilakukan adalah uji *fastening*. Teknik pembuatan papan komposit dilakukan dengan menggunakan teknik *hand lay up*. Material penyusun papan komposit adalah serat pandan wangi dengan variasi panjang serat 15 mm, 20 mm, dan 30 mm dan fraksi volume serat 20 % dan 30 % sedangkan untuk *filler* serbuk kayu sengon 5 %. Perkat yang digunakan adalah resin *polyester*. Hasil keluaran dari penelitian dimana predrilling pada ukuran *fastener* #6, #8 dan #10 sebesar 3,5 mm, 4 mm dan 4,5mm, sedangkan antara jarak *fastener* didapatkan jarak masing-masing *fastener* tergantung pada kepala *fastener* itu sendiri yaitu *fastener* #6, #8, dan #10, adapun pada jarak kritis *fastener* antar tepi panjang dan fraksi volume serat pandan wangi berpengaruh nyata dapat dilihat nilai tertinggi pada panjang serat 15 mm dan fraksi volume 20 % sebesar 3,29 mm, dan nilai terendah terdapat pada panjang serat 15 mm dan fraksi volume 30 % sebesar 2,74 mm.

Abstract

The purpose of this study was to obtain handling connection type in use as door panels, roofing sheets, walls and floors. Therefore, the tests performed are fastening test and abrasion test. The technique of making wood composite is using hand lay-up technique. Constituent material of board composite is using pandanwangi fibers with length variations are 15 mm, 20 mm, and 30 mm with volume fraction variations are 20% and 30%, and 5% Sengon tree saw-dust is used as the filler. The results showed that pre-drilling with fastener sizes # 6, # 8 and # 10 is 3.5 mm, 4 mm and 4.5mm. The distance between each fastener depends on the fastener head itself, ie fastener # 6, # 8, and # 10. Critical distance between the edge of the fastener has a significant effect on fiber length and volume fraction. The highest value is shown on 15 mm of the fiber length and 20% of volume fraction with the value 3.29 mm, and the lowest value is shown on 15 mm of the fiber length and 30% of volume fraction with the value 2.74 mm.

Key words : board composite, pandanwangi fiber, fastening, polyester and saw-dust

PENDAHULUAN

Saat ini ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang rekayasa material serta berkembangnya isu lingkungan hidup menuntut terobosan baru dalam menciptakan material-material yang berkualitas tinggi serta ramah lingkungan. Pemakaian akhir material logam dan keramik akan menyisakan residu di alam, karena material tersebut sulit dihancurkan oleh alam dalam waktu singkat. Oleh karena itu, pemakaian material ramah lingkungan, mampu didaur ulang serta mampu dihancurkan sendiri oleh alam merupakan tuntutan teknologi saat ini [1]. Komposit juga merupakan salah satu jenis material di dalam dunia teknik yang dibuat dengan

penggabungan dua macam bahan yang mempunyai sifat berbeda menjadi satu material baru dengan sifat yang berbeda pula. Penelitian yang mengarah pada perkembangan bahan komposit telah banyak dilakukan, terutama yang berkaitan dengan komposit penguatan serat alam yang berbahan matrik polimer. Penelitian ini dilakukan seiring dengan majunya penggunaan bahan alami dalam kehidupan sehari-hari. Kelebihan mendasar yang dimiliki oleh serat alam adalah jumlahnya berlimpah, memiliki biaya produksi yang rendah, dapat diperbarui dan didaur ulang, serta tidak mencemari lingkungan.

Serat alam sekarang banyak digunakan karena jumlahnya banyak dan

sangat murah jadi sering dimanfaatkan sebagai material penguat seperti serat pandan wangi *Pandanus amaryllifolius*, *Roxb*, *kenaf*, *abaca*, *rosella*, jerami dan masih banyak serat alam yang lain yang bisa dimanfaatkan, akan tetapi serat alam mempunyai kekuatan yang rendah dibandingkan serat buatan.

Berbagai macam pengujian pun sudah dilakukan pada komposit serat daun pandan untuk memperoleh sifat mekanik yang tinggi salah satunya seperti uji bending, didapat kekuatan *bending* yang paling rendah pada *specimen* dengan menggunakan serat pandan wangi pada fraksi volume serat 20% sebesar 171,76 KN dan kekuatan paling tinggi didapat pada fraksi volume serat 40% sebesar 236,67 [2].

Adapun penelitian dalam metode *fastening* komposit *sandwich polyester* diperkuat serat tumbuhan-limbah industri dengan *honeycomb core* dari kertas bekas dimana komposisi penyusun kulit komposit mempengaruhi jarak kritis akhir *fastener* dari komposit *sandwich* dengan menggunakan abu sekam sebagai filler, untuk alat ukur *fastener* #6, #8, #10 adalah 6,3 mm, 6,7 mm, 7,7 mm [3].

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh panjang dan fraksi volume serat terhadap uji *fastening* dan *abrasion* pada papan komposit serat pandan wangi dan limbah kayu dengan resin *polyester* yang mempunyai ketahanan terhadap penetrasi sekrup dan keausan.

LANDASAN TEORI

Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian mengembangkan produk komposit plastik dengan penguat serat tumbuhan untuk beberapa aplikasi konstruksi seperti bahan atap, plafon, panel-panel, keset, dan bahan bangunan lain dengan biaya yang rendah. Pada studi mengenai komposit partikel-polimer dengan penguat serat tumbuhan *jute*, *filler flyash*, dan resin *epoxy*, menunjukkan bahwa komposit ini merupakan material potensial yang memberi sifat fisik dan mekanik yang unggul. Juga dilaporkan bahwa serat tumbuhan untuk menggantikan serat sintesis pada komposit polimer mampu mengurangi biaya bahan. Alasan yang lain adalah karena serat alam mempunyai modulus yang baik dan berat jenis yang rendah [4].

Selain temuan bahan komposit diatas, temuan lain komposit partikel-polimer dari bahan limbah kayu, dan serat alam yang menjadi perhatian utama di Laboratorium

Bahan Jurusan Teknik Mesin, Universitas Mataram dan telah menghasilkan beberapa temuan. Seperti misalnya; pemakaian limbah serbuk kayu 5% pada komposit diperkuat serat pandan wangi menghasilkan kekuatan *bending* dan ketangguhan *impact* yang tinggi.

Material Komposit

Kata komposit memberikan suatu pengertian yang sangat luas dan berbeda - beda mengikuti situasi dan perkembangan bahan itu sendiri. Gabungan dua atau lebih bahan merupakan suatu konsep yang diperkenalkan untuk menerangkan definisi komposit.

Komposit dibentuk dari dua jenis material utama yaitu penguat (*reinforcement*) dan matriks sebagai pengikat. Keunggulan dari material komposit bila dibandingkan dengan material lainnya adalah penggabungan unsur - unsur pembentuknya tersebut. Sifat material hasil penggabungan ini diharapkan dapat saling melengkapi kelemahan-kelemahan yang ada pada masing-masing material penyusunnya. Dengan memilih kombinasi material penguat dan pengikat yang tepat, maka dapat dihasilkan suatu material komposit dengan sifat yang sesuai dengan keinginan. Material komposit memiliki beberapa keunggulan diantaranya bobot ringan, mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik, biaya produksi yang murah, tahan korosi dan lain - lain.

Pandan Wangi

Tanaman pandan wangi terdapat kadang-kadang di pinggir sungai, di tepi rawa atau di tanah yang basah. Subur di daerah pantai sampai ketinggian 500 meter di atas permukaan laut. Batangnya bulat dengan bekas duduk daun, bisa bercabang-cabang, menjalar, akar tunjang ke luar di sekitar pangkal batang dan cabang. Daun tunggal, duduk, dengan pangkal memeluk batang, tersusun berbaris tiga dalam garis spiral. Helai daun berbentuk pita, tipis, licin, ujung runcing, tepi rata. Bagi tanaman yang subur, daunnya bisa mencapai panjang antara 40 sampai 80 cm, lebar 3 sampai 5 cm, warna hijau, bila diremas berbau harum. Bunga majemuk, bongkol, putih. Buahnya batu, menggantung, bentuk bola, warna jingga. Memperbanyak tumbuhan pandan bisa dilakukan dengan memisahkan tunas-tunas muda yang tumbuh diantara akar-akarnya

Merupakan salah satu jenis kayu khas dari daerah tropis. Di Indonesia, kayu ini sangatlah familier dan banyak terdapat di Pulau Jawa. Sebab, di pulau ini pohon sengon banyak ditanam atau dibudidayakan oleh masyarakat baik secara individu maupun secara kelompok. Bahkan di kawasan ini, pengelolaannya dilakukan secara serius. Kayu sengon merupakan salah satu jenis kayu tropis yang memiliki nilai komersial yang sangat baik dalam pasar komoditas. Serbuk merupakan salah satu bentuk limbah industri penggergajian kayu dan belum banyak dimanfaatkan. Hasil penelitian pada beberapa industri penggergajian kayu di Sulawesi Selatan menunjukkan bahwa limbah yang dihasilkan rata-rata 52,56% dari bahan baku yang digunakan, termasuk di antaranya bentuk serbuk.

Resin Polyester

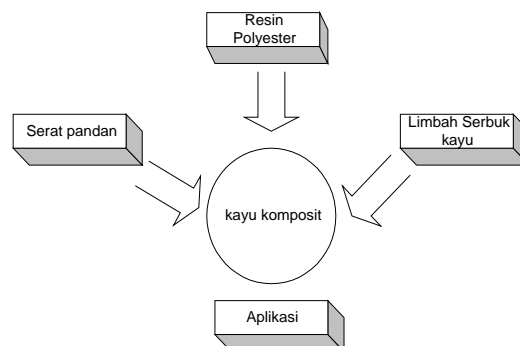
Merupakan jenis material polimer *thermosetting*, yaitu jenis material dimana terbentuknya ikatan dibantu oleh panas, katalis atau gabungannya. Matriks ini dapat menghasilkan keserasian matriks – penguat dengan mengontrol faktor jenis dan jumlah

komponen, katalis, waktu, dan suhu. Sifatnya tahan *creep*, memadai selaku perekat struktur berbeban berat, serta tahan kondisi ekstrim panas, radiasi, kelembaban, dan tahan kimia.

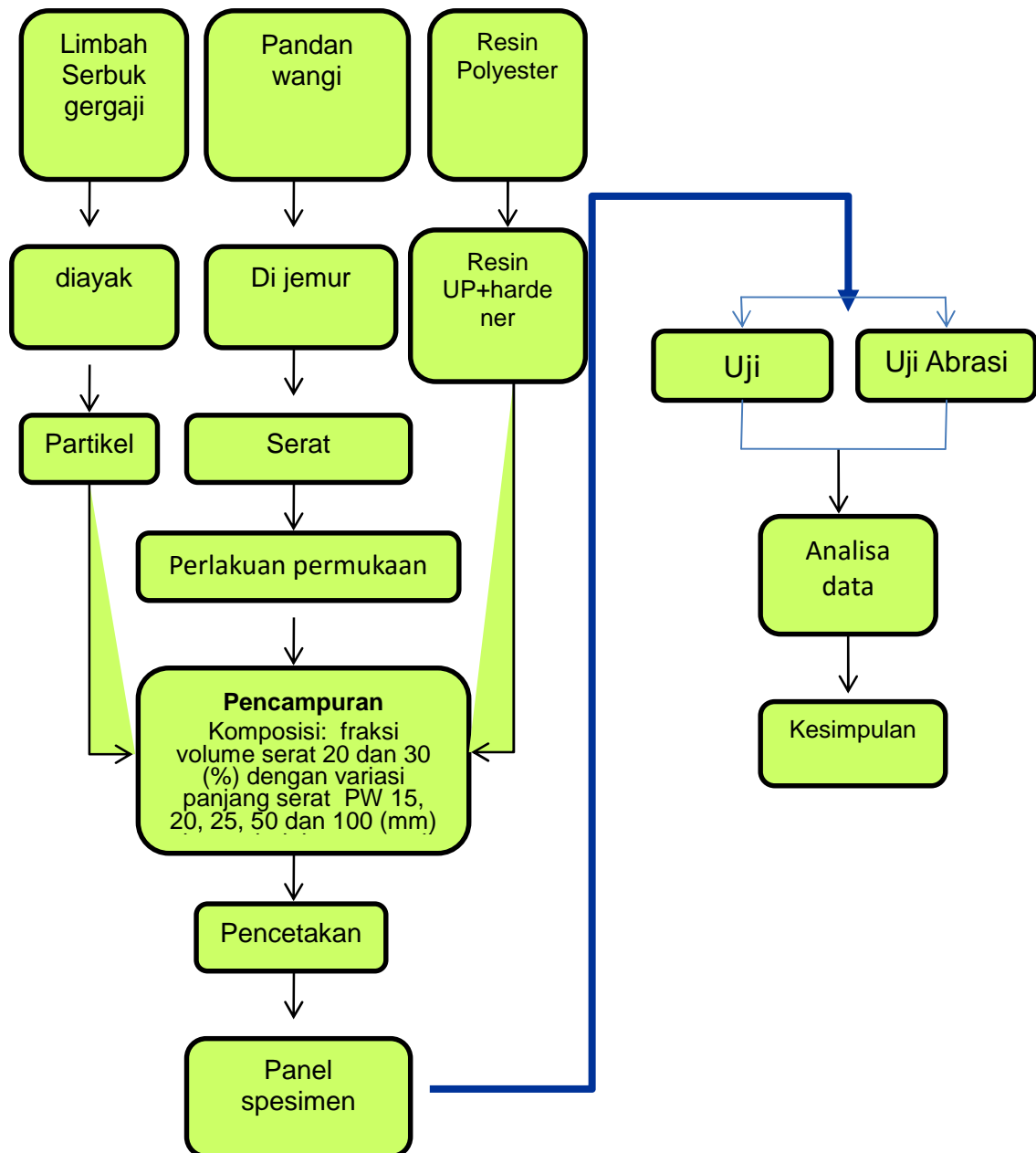
Pengujian Fastening

Pengujian Fastening adalah uji dimana melakukan sambungan menggunakan *fastener* (pengikat) pada dua bahan menjadi satu, adapun jenis sambungan yaitu sambungan tetap dan sambungan tidak tetap. Pada sambungan tetap tidak mungkin untuk dibuka lagi tanpa merusak bahan contoh sambungan las, sambungan tidak tetap dimana pengikatnya dapat dibuka lagi tanpa merusak bahan yang disambung adapun contoh sambungan tidak tetap yaitu baut, sekrup, pasak paku keling. Pada penyambungan komposit sambungan harus mampu meneruskan gaya. Pemasangan *fastener* pada komposit harus tidak menyebabkan retaknya komposit. Papan komposit sesuai dengan standar spesimen batang uji yang standar spesimen ASTM D7332 / D7332M – 09[5].

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Skema pemanfaatan serat alam dan limbah kayu.



Gambar 2 Diagram alir penelitian.

Pembuatan Spesimen

- Persiapan alat dan bahan
- Pengolesan kit mobil pada cetakan untuk memudahkan pengambilan benda uji dari cetakan setelah mengalami proses pengeringan.
- Penempatan masing-masing serat pandan dan serbuk kayu sengon ke dalam wadah pengaduk sesuai dengan komposisi.
- Penuangan sebagian resin *polyester* dan katalis sesuai dengan komposisi ke dalam wadah pengaduk kemudian aduk hingga campuran resin, serat dan

serbuk kayu merata selanjutnya tuang ke dalam masing-masing cetakan.

- Penutup dengan kaca bagian atasnya yang bertujuan agar *void* yang kelihatan dapat diminimalkan jumlahnya yang kemudian dilakukan pengepresan dengan menggunakan alat penekan.
- Proses pengeringan dibawah sinar matahari, proses ini dilakukan sampai benar-benar kering ± 30 jam dan apabila masih belum benar-benar kering maka proses pengeringan dapat dilakukan lebih lama.

- g. Proses pengambilan komposit dari cetakan dapat menggunakan pisau ataupun cutter.

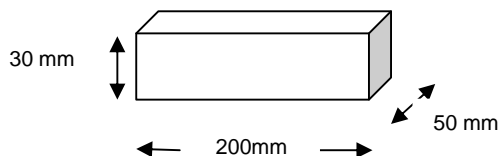
Komposit yang telah dicetak dibentuk menjadi benda uji sesuai dengan standar masing-masing pengujian.

Pengujian fastening

Pengujian *fastening* dilakukan tiga jenis pengujian yaitu pengujian kesesuaian diagonal *predrilling* terhadap ukuran *fastener*, pengujian jarak kritis antar dua *fastener* dan pengujian jarak kritis antara *fastener* dengan pinggir kayu komposit dan serat daun pandan.

Predrilling adalah pelubangan awal dengan diameter tertentu (di bawah harga diameter *gauge fastener*) pada tempat dimana *fastener* akan dipasangkan, dengan tujuan untuk mempermudah dan menghindari kerusakan komposit pada proses *fastening*. Adapun *predrilling* dilakukan dengan *Banch Drill Machine* dengan kecepatan putaran *drill* 320 rpm.

Papan komposit sesuai dengan standar spesimen astm d7332 / d7332m – 09 standar dengan ukuran panjang 200 mm, lebar 50 mm, tebal 30 mm.



Gambar 3 Dimensi Spesimen Uji *Fastening*

Pada pengujian akan diperoleh metode *fastening*, dan ukuran *fastener*, maka akan dilakukan uji dengan variasi berikut :

1. Pemasangan *fastener* didahului *predrilling* 0; 1; 2 ; 3 ; 3.5 ; 4 ; 4.5 ; 5 mm, dengan ukuran sekrup sebagai *fastener* :
Fastener # 6 (ϕ lu 3,51 mm, ϕ du 3 mm, p 1,25 inchi)
Fastener # 8 (ϕ lu 4,2 mm, ϕ du 3,5 mm, p 1,25 inchi)
Fastener # 10 (ϕ lu 4,82 mm, ϕ du 4 mm, p 1,25 inchi)
2. Jarak antara dua sekrup mula – mula diambil 20 mm dan kemudian berkurang masing-masing 3 mm sampai diperoleh jarak dua sekrup yang menyebabkan retaknya komposit.

3. Jarak lubang sekrup ke pinggir komposit mula-mula 12 mm da kemudian berkurang berturutan 2 mm dimana disesuaikan dengan jari-jari kepala *fastener* sampai diperoleh jarak yang menyebabkan retaknya komposit.

Adapun ukuran spesimen masing-masing pengujian adalah sebagai berikut :

1. (200x50x31) mm³ untuk pengujian kesesuaian *predrilling* terhadap *fastener*.
2. (125x50x31) mm³ untuk pengujian jarak kritis antar dua *fastener*
3. (75x50x31) mm³ untuk pengujian jarak kritis antara *fastener* dengan pinggir komposit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

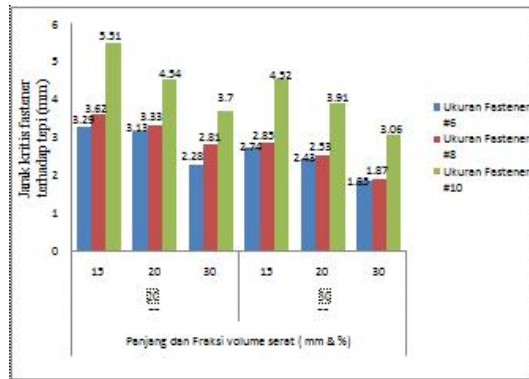
Tabel 1. Hasil Pengujian *Fastening* jarak kritis antar tepi pada papan komposit dengan resin polyester diperkuat serat pandan wangi

Fraksi volume serbuk kayu		5%								Rata-rata pengujian <i>fastening</i>	
Fraksi volume resin <i>polyester</i>		75%			65%						
Fraksi volume serat		20%			30%						
Panjang serat	<i>Fastener</i>	I	II	III	<i>Fastener</i>	I	II	III	20%	30%	
15	#6	3.36	3.28	3.24	#6	2.6	2.78	2.76	3.29	2.71	
	#8	3.52	3.6	3.74	#8	2.92	2.8	2.84	3.62	2.85	
	#10	5.6	5.42	5.5	#10	4.42	4.6	4.54	5.51	4.52	
20	#6	3.2	3.06	3.14	#6	2.4	2.54	2.34	3.13	2.43	
	#8	3.3	3.2	3.34	#8	2.48	2.34	2.5	3.28	2.44	
	#10	4.62	4.5	4.48	#10	3.8	3.94	4	4.54	3.91	
30	#6	2.4	2.14	2.3	#6	1.8	1.9	1.84	2.28	1.85	
	#8	2.98	2.68	2.76	#8	1.88	1.8	1.94	2.81	1.87	
	#10	3.84	3.56	3.7	#10	3.04	2.96	3.18	3.7	3.06	

Tabel 2 Perhitungan To ways Analysis of Variances Uji *Fastening* (Jarak kritis fastener #6 antar tepi)

Sumber variasi	Jumlah kuadrat	Derajat kebebasan	Rataan kuadrat	f hitungan	f tabel
panjang serat	2.956933	2	1.478467	162.6675	3.885294
Fraksi volume serat	1.433689	1	1.433689	157.7408	4.747225
Panjang serat dan fraksi volume serat	0.056311	2	0.028156	3.0978	3.885294
Galat	0.109067	12	0.009089		
Jumlah	4.556	17			

Adapun dari nilai rata-rata tabel 2 dapat dgambarkan dengan grafik seperti pada gambar 4.



Gambar 4 Grafik rata-rata jarak kritis antar tepi (mm)

Dari gambar grafik di atas dapat dilihat bahwa jarak kritis *fastener* #6 terhadap panjang serat 15 mm dengan fraksi volume 20 % ke tepi sebesar 3,29 mm, terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Fastener #6 panjang serat 15 mm, fraksi volume 20 %, pengulangan ke 3.

Berbeda dengan *fastener* #8, panjang dan fraksi volume serat yang sama memiliki jarak kritis antar tepinya lebih besar dibandingkan *fastener* #6 dikarenakan diameter kepala fastener dan ulir yang lebih besar sehingga penetrasi yang diberikan lebih besar dibandingkan pada *fastener* #6 yaitu 3,62 mm, begitupun juga pada *fastener* ukuran #10 namun lebih tinggi dibandingkan dengan *fastener* #6, dan # 8, sebesar 5,51 mm, semakin besar penetrasi yang diberikan fastener maka semakin besar pula jarak kritis yang dibutuhkan terhadap tepi. Pada panjang serat 20 mm dengan fraksi volume 20 %, memiliki hasil uji dimana pada ukuran *fastener* # 6 nilai jarak kritis antar tepi adalah 3,13 mm, adapun pada ukuran *fastener* #8 nilai jarak kritis antar tepinya terhadap panjang serta fraksi volume yang sama yaitu 3,33 mm sebelum terjadinya kegagalan jarak kritis antar tepi pada gambar 6.



Gambar 6. Fastener #8 panjang serat 20 mm dan fraksi volume 20 % pengulangan ke 2

Fastener #10 dimana panjang dan fraksi volume serat yang sama memiliki nilai 4,54 mm. Penambahan panjang serat sebesar 5 mm menyebabkan berkurangnya nilai jarak kritis antar tepi pada spesimen yang panjang seratnya 15 mm. Jarak Kritis antar tepi *fastener* #6 pada panjang serat 30 mm dengan fraksi volume 20 % diperoleh 2,28 mm, adapun jarak kritis antar tepi *fastener* #8 dimana panjang serat 30 mm dan fraksi volume serat 20 % yaitu 2,81 mm. Selanjutnya ukuran *fastener* #10 didapatkan nilai lebih rendah daripada fraksi volume serat daun pandan 20 % dengan panjang serat 15 mm, dan 20 mm, yang dimana nilai sebesar 3,7 mm. Lebih dari itu didapatkan kegagalan jarak kritis fastener antar tepi yang bisa dilihat pada Gambar 7 dibawah ini



Gambar 7. Fastener #10 panjang serat 30 mm, fraksi volume 20 %, pengulangan ke 1.

Panjang serat daun pandan wangi 30 mm mampu mengikat resin polyester lebih baik walau terdapat sedikit void dibandingkan dengan panjang serat 15mm dan 20 mm.

Ukuran *fastener* #6 terhadap panjang serat 15 mm dengan fraksi volume 30 % jarak kritis antar tepi yang di dapat adalah 2,74 mm adapun kegagalan yang terjadi pada *fastener* # 6 setelah pengukuran diatas dapat dilihat seperti gambar 8.



Gambar 8. Fastener #6 panjang serat 15 mm, fraksi volume 30 %, pengulangan ke 1
Fastener #8 diperoleh hasil 2,85 mm dan ukuran fastener #10 yaitu 4,52 mm. Berbeda sebelumnya nilai pada panjang 15 mm dan fraksi volume serat pandan wangi sebesar 20 %, dikarenakan adanya penambahan fraksi volume serat pandan wangi sebesar 10 % menjadi 30% yang membuat kekuatan papan komposit bertambah. Adapun nilai yang terdapat pada ukuran fastener # 6 dengan panjang serat 20 mm dengan fraksi volume 30 % lebih rendah dibandingkan saat nilai pada panjang serat 20 dimana fraksi volumenya 20 % sebesar 2,34 mm, begitupun juga pada fastener # 8 adalah 2,53 mm, dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Fastener #8 panjang serat 20 mm, fraksi volume 30 %, pengulangan ke 1
Fastener # 10 yaitu 3,91 mm, penambahan panjang serat 5 mm dan fraksi volume serat sebesar 10 % menyebabkan jarak kritis fastener antar tepi pada papan komposit semakin dekat . Pada panjang serat 30 mm dengan fraksi volume 30 % memiliki nilai paling rendah dari yang lainnya baik masing-masing ukuran fastener yaitu #6 (1,85 mm), #8 (1,87 mm) dan # 10 (3,06 mm) dikarenakan panjang dan fraksi volume serat yang berfungsi sebagai berpengaruh nyata mampu menahan penetrasi dari fastener lebih baik dibandingkan dengan fraksi volume sebesar 20 % dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Fastener #8 panjang serat 20 mm, fraksi volume 20 %, pengulangan ke 1

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa pada pengujian *fastening* papan komposit serat pandan wangi dan limbah kayu dengan resin *polyester* dipengaruhi oleh panjang serat dan fraksi volume serat pandan wangi.

1. Metode pemasangan *fastener* terhadap papan komposit melalui proses *predrilling* dengan diameter *predrilling* mendekati diameter ulir *fastener*. Fastener #6, #8, #10 adalah 3,5 mm, 4 mm, 4,5 mm
2. Jarak kritis antara *fastener* satu dengan *fastener* yang lain tidak ada, melainkan jarak minimal tergantung pada kepala *fastener* tersebut. Jarak minimal antar *fastener* #6, #8, #10 adalah 6 mm, 8 mm, dan 10 mm.
3. Pada jarak kritis fastener antar tepi, panjang dan fraksi volume serat pandan wangi memiliki pengaruh yang nyata hal ini dapat dilihat perbedaan nilai yang sangat besar pada *fastener* #6 dengan panjang serat 15 mm dan fraksi volume 20 % dengan *fastener* #6 panjang serat 15 mm dan fraksi volume 30 % sebesar 3,29 mm dan 2,74 antar tepi.
4. Nilai koefisien abrasi pada komposit pandan wangi dengan fraksi volume serat 20% lebih besar dari fraksi volume serat 30%. Demikian juga semakin kecil panjang serat nilai koefisien abrasi yang terjadi semakin besar. nilai koefisien abrasi tertinggi terjadi pada fraksi volume serat 20% dan panjang serat 15 mm yaitu 0,000724, sedangkan nilai koefisien abrasi terendah terjadi pada fraksi volume 30% dan panjang serat 30 mm yaitu 2,77E-05

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hotman, A., M, 2013. "Karakteristik Kekuatan *Bending* Dan Kekuatan Tarik Komposit Serat Alam Dengan Resin *Epoxy*" Universitas Mataram
- [2] Sulistyowati,D., E, dkk 2012. "Pengaruh Panjang Serat dan Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Impact dan *Bending* Material Komposit *Polyester-Fiber Glass* dan *Polyester-Pandan Wangi*" *Dinamika Teknik Mesin* / vol. 2/No. 1 halaman : 15
- [3] Catur, D., C., dkk ,2009. *Fastening Sandwich Composite Polyester Methods Reinforced Plants Fiber-Industri Waste with Honeycomb Core of used Paper*. *Dinamika Teknik Sipil* / vol. 12/No. 1 halaman :11
- [4] Maulida, 2006, Perbandingan Kekuatan Tarik Komposit Polipropilena Dengan Pengisi Serat Pandan dan Serat Daun Pisang, *Jurnal Teknologi Proses*, Universitas Sumatra Utara.
- [5] ASTM standard C33, 2003. "Specification for Concrete Aggregates," *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2003, DOI : 10.1520/C0033-03